



## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y ANÁLISIS DE ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS EN EL CAMPO GEOTERMAL DOMUYO, PATAGONIA

## HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE DOMUYO GEOTHERMAL FIELD, PATAGONIA

Villalba, E.<sup>1</sup>; Borzi, G.<sup>1</sup>; Santucci, L.<sup>1</sup>; Di Lello, C.<sup>1</sup>; Carol, E.<sup>1</sup>; Páez, G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), <sup>2</sup>Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CIC)

[evillalba@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:evillalba@cig.museo.unlp.edu.ar)

### Resumen

*El objetivo de este trabajo es analizar la hidroquímica y el contenido de elementos de tierras raras (ETR) en arroyos y descargas geotermales en el Sistema Domuyo, Neuquén, Argentina. Para ello se colectaron muestras de agua y se determinaron in situ pH, CE y T, y en laboratorio iones mayoritarios y ETR. Los resultados evidencian que las descargas geotermales ejercen una marcada influencia en las facies químicas y salinidades en los cursos de agua superficial del área estudiada. En cuanto al contenido de ETR en el agua hidrotermal se determinó que es relativamente bajo y no modifica significativamente los patrones y concentraciones de los cursos fluviales. Pese a esto, los ETR presentan patrones normalizados distintivos en cada curso fluvial y también en las surgencias geotermales, lo que indicaría que ocurren distintos procesos geoquímicos.*

**Palabras clave:** ETR, hidrogeoquímica, agua superficial, descarga geotermal.

### Introducción

El interés en la distribución de elementos de tierras raras (ETR) en el medio ambiente y, especialmente en las aguas naturales, está relacionado con su posible uso como marcadores de procesos hidrológicos y geoquímicos (Auqué et al. 1993; Buil 2004). Las concentraciones y los patrones de los ETR se verán afectados por meteorización, hidrotermalismo y aportes de la escorrentía, lo que los convierte en trazadores potenciales para analizar la ocurrencia de estos procesos durante el flujo de agua tanto subterránea como superficial (Gob et al. 2013, Vázquez – Ortega et al. 2015).

Sobre el flanco oeste del Cerro Domuyo, en el norte neuquino, tiene lugar un gran campo geotermal al que se asocian cursos fluviales intermontanos. Los arroyos ubicados sobre la mencionada ladera drenan el agua superficial hacia la margen izquierda del río Varvarco (Fig. 1). Los arroyos más representativos en cuanto a su caudal y envergadura son el Manchana Covunco y el Covunco (Fig. 1), los cuales se alimentan principalmente del agua procedente del derretimiento de la nieve y atraviesan en su recorrido distintas descargas geotermales. En el área de estudio, el arroyo Manchana Covunco está labrado en litologías asociadas a depósitos del Precuyano de tipo sedimentario marino y a la Granodiorita Varvarco (Permotriásico), mientras que el arroyo Covunco en rocas volcánicas del Complejo Volcánico Domuyo (Terciario Superior). El objetivo del trabajo fue analizar las facies hidroquímicas y el contenido de ETR de estos arroyos y de las descargas geotermales que ocurren en sus márgenes dentro del Sistema Domuyo.

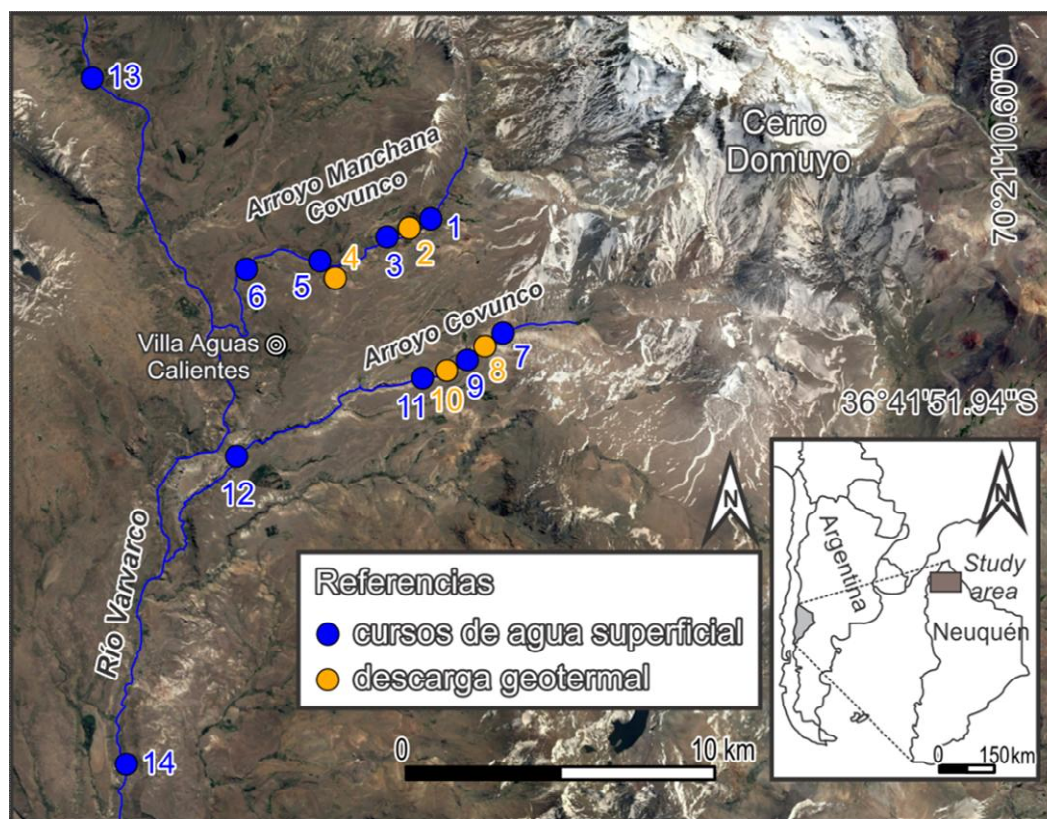


Figura 1. Mapa del área de estudio y localización de muestras.

## Metodología

Se generó una red de monitoreo compuesta por 14 puntos de muestreo y medición de parámetros in situ abarcando los arroyos Manchana Covunco y Covunco, el río Varvarco y las principales descargas hidrotermales asociadas a dichos arroyos. Se midió in situ el pH, la conductividad eléctrica (CE) y la temperatura (T) del agua con un equipo multiparamétrico Lutron WA-2017 SD. En las muestras recolectadas se determinó la concentración de iones mayoritarios y ETR en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas tratando las muestras bajo normas estandarizadas (APHA, 1998). Los métodos utilizados fueron volumetría, espectrofotometría UV-Visible y fotometría de llama para iones mayoritarios e ICP-MS para el caso de la determinación de ETR.

## Resultados

El arroyo Manchana Covunco (Fig. 1) presenta en sus nacientes (punto 1) facies  $\text{Na-SO}_4/\text{Cl}$  con una CE de 1,43 mS/cm y 20,5°C de T. Este arroyo atraviesa en la sección media descargas geotermale (puntos 2 y 4) de tipo Na-Cl con CE y T promedio de 6,73 mS/cm y 79,7°C, respectivamente. Esto determina que aguas abajo de las mismas el agua del arroyo (punto 6) pase a ser de tipo Na-Cl, con CE de 3,46 mS/cm y T de 27,5°C. Por otro lado, el arroyo Covunco (Fig. 1) en el sector de cuenca alta (punto 7) presenta facies de tipo  $\text{Ca-HCO}_3$  con CE de 0,83 mS/cm y una T de 15°C mientras que en el tramo de cuenca baja (punto 12) es de tipo Na-Cl con una CE de 2,37 mS/cm y una T de 20,4°C. Las descargas geotermale localizadas en el sector medio del arroyo son de tipo Na-Cl con CE media de 7,61 mS/cm y T de 63,1°C. En cuanto a los valores de pH se observa que dominan valores neutros a levemente alcalinos. No obstante, si se compara el agua del arroyo Covunco con las de las descargas geotermale, estas últimas son más alcalinas, con un valor máximo de 9,34 en la muestra 8 (Fig. 1). Ambos arroyos desembocan en el río Varvarco el cual presenta aguas arriba del arroyo Manchana Covunco (punto 13) facies de tipo  $\text{Ca-SO}_4$  con CE de 0,34 mS/cm, mientras que la muestra tomada aguas abajo del arroyo Covunco (punto 14) es Na-Cl con una CE de 0,76 mS/cm. Esto evidencia la influencia hidroquímica que tienen ambos arroyos y las descargas geotermale sobre el río Varvarco.

En relación a los valores de ETR, se efectuó su normalización con respecto a los valores del contenido en la corteza continental superior (CCS) según McLennan (2001) y se generaron diagramas tipo Spider (Fig. 2). A pesar de que también se utilizaron ejes logarítmicos para observar cambios en las concentraciones, éstos son más notorios en los diagramas presentados por lo que no fueron mostrados. En líneas generales, tanto las muestras de los arroyos como de las descargas geotermales registran bajos contenidos de ETR respecto de la CCS presentando cada uno de los cursos patrones disímiles. En el arroyo Manchana Covunco, tanto el agua superficial aguas arriba y aguas abajo de las descargas geotermales, presentan patrones similares con marcadas anomalías positivas en La y Nd. Asimismo, se observa que a excepción de dichos elementos ocurre un leve enriquecimiento en los restantes ETR desde cabeceras a cuenca baja (Fig. 2a). El arroyo Covunco, muestra un patrón y concentraciones similares a los anteriormente descriptos observándose un claro enriquecimiento en ETR en la muestra ubicada aguas abajo antes de la desembocadura en el río Varvarco respecto a las muestras aguas arriba. En este arroyo también se observa una marcada anomalía negativa en Ce en todas las muestras (Fig. 2b). Para el caso de las descargas geotermales, todas las muestras presentan anomalías positivas en La, y sólo la muestra 2 presenta un pico positivo mayor en Nd (Fig. 2c). Nótese que las concentraciones en ETR en las descargas geotermales son inferiores a las registradas en ambos arroyos. Esta característica hace que las mismas no ocasionen cambios importantes en los contenidos y patrones de ETR en los arroyos a medida en que el curso las atraviesa.

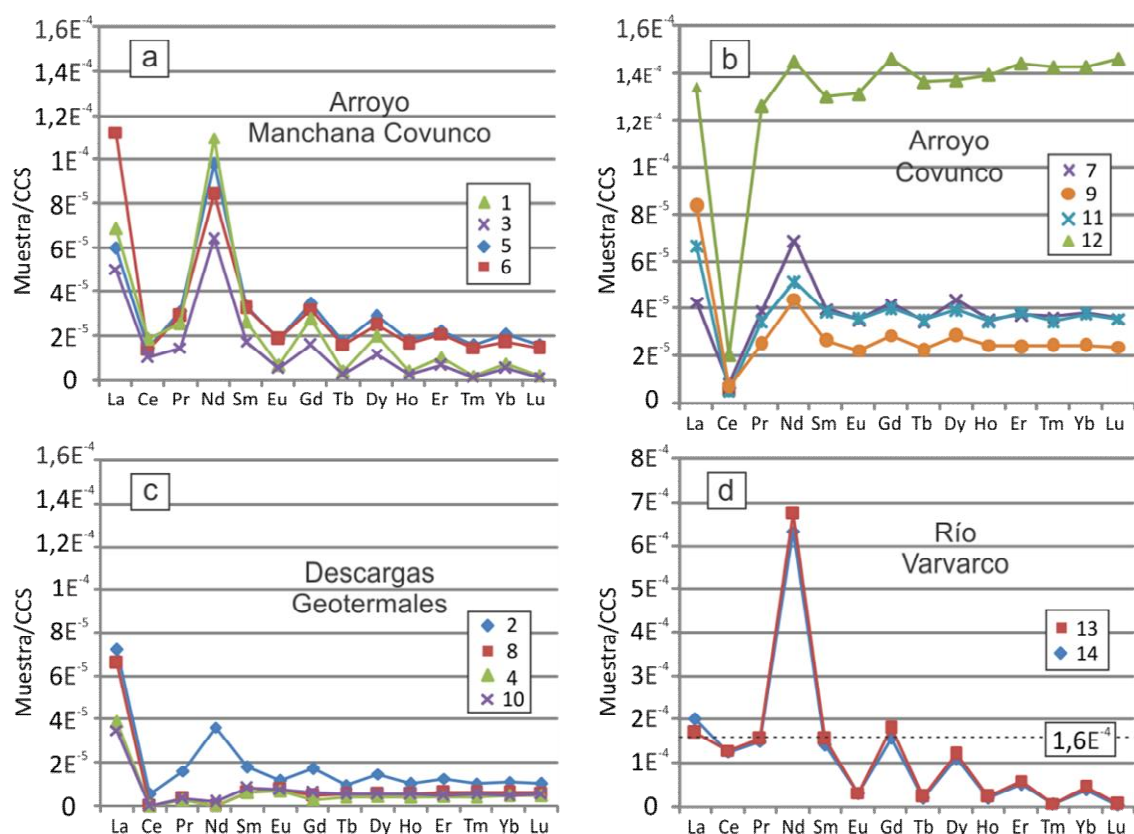


Figura 2. Diagramas Spider multielemento normalizados según los valores de la corteza continental superior (CCS) de los grupos de muestras estudiadas. La figura d presenta valor de referencia para comparación de escalas entre los gráficos.

Por último, los patrones y contenidos en los ETR del río Varvarco registrados aguas arriba y aguas abajo de la descarga de los arroyos Manchana Covunco y Covunco son similares, presentando una característica anomalía positiva en Nd (Fig. 2d). En este río las concentraciones de ETR normalizadas son un orden de magnitud mayor a las registradas en los arroyos y descargas geotermales, razón por la cual la descarga de éstos no modifica el patrón y concentraciones en el río.



## Conclusiones

El análisis en conjunto de la CE y concentraciones de iones mayoritarios disueltos evidencia que las descargas geotermales ejercen una marcada influencia en las facies químicas y salinidades de los arroyos y ríos que atraviesan el Sistema Geotermal Domuyo. No obstante, el contenido en ETR es muy bajo en el agua hidrotermal y no modifica significativamente los patrones y concentraciones de los cursos fluviales estudiados. Pese a esto los ETR presentan patrones normalizados distintivos en cada curso fluvial, que indican que aunque se encuentren próximos, la interacción roca-sedimento no ocurre de igual manera en cada uno de ellos. Esto podría deberse a variaciones litológicas debido a que el arroyo Manchana Covunco, en el tramo muestreado, está labrado en litologías dado que incluyen depósitos sedimentarios marinos y granodioríticos, mientras que el arroyo Covunco, discurre en el tramo muestreado exclusivamente en rocas volcánicas. Asimismo, no se descarta la influencia de la descarga geotermal, que si bien no tiene elevadas concentraciones en ETR, puede propiciar la meteorización de las rocas en distinta forma en función de la temperatura y pH de este fluido. En los arroyos Manchana Covunco y Covunco los patrones se caracterizan por anomalías positivas en La y Nd, mientras que en el río Varvarco marcadas anomalías en Nd caracterizan sus patrones de ETR normalizados.

## Bibliografía

- APHA (American Public Health Association)**, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Twentieth ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- Auqué, L. F., Tena, J. M., Gimeno, M. J., Mandado, J., Zamora, A., Julián, P. L.**, 1993. Distribución de tierras raras en soluciones y coloides de un sistema natural de aguas ácidas (Arroyo del Val, Zaragoza). Estudios Geológicos, 49(1-2), 41-48.
- Buil, B.**, 2004. Estudio comparativo del comportamiento geoquímico de las tierras raras en los procesos de interacción agua roca desarrollados en sistemas geotermales del Pirineo Central (Lérida) y en el sistema geológico del entorno de Mina Ratones (Cáceres). Tesis 424 pp.
- Göb S, Loges A, Nolde N, Bau M, Jacob DE, Markl G.**, 2013. Major and trace element compositions (including REE) of mineral, thermal, mine and surface waters in SW Germany and implications for water, rock interaction. Applied Geochemistry; 33: 127-152.
- McLennan, S. M.**, 2001. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2 Paper number 2000GC000109
- Vázquez-Ortega A, Perdrial J, Harpold A, ZapataRíos X, Rasmussen C, McIntosh J et al.**, 2015. Rare earth elements as reactive tracers of biogeochemical weathering in forested rhyolitic terrain. Chemical Geology 391: 19-32.